

ИЗУЧЕНИЕ СВАРИВАЕМОСТИ ТРУБНОЙ СТАЛИ ГРУППЫ ПРОЧНОСТИ X65QS В КОРРОЗИОННОСТОЙКОМ ИСПОЛНЕНИИ

Для оценки свариваемости стали были проведены исследования влияния различных термических циклов сварки на вязкие свойства и стойкость к сульфидному растрескиванию под напряжением трубной коррозионностойкой стали группы прочности X65QS. Исследования проводили с помощью моделирования термических циклов сварки с нагревом до температуры 1300°C с последующим охлаждением с различными скоростями. Так же была изучена кинетика распада аустенита стали группы прочности X65 QS в условиях термических циклов сварки. Дилатометрические исследования показали, что в области крупного зерна зоны термического влияния в широком диапазоне скоростей охлаждения присутствует бейнитное превращение. При этом основным фактором, влияющим как на вязкие, так и на коррозионные свойства, является морфология бейнита, сформированного в области крупного зерна зоны термического влияния. Установлено, что самыми высокими вязкими свойствами и удовлетворительной стойкостью к сульфидному растрескиванию под напряжением обладают сварные соединения со структурой игольчатого бейнита в области крупного зерна зоны термического влияния. Игольчатый бейнит в области крупного зерна зоны термического влияния образуется при реализации скоростей охлаждения 10-20°C/с.

Ключевые слова: свариваемость, зона термического влияния, термический цикл сварки, скорость охлаждения, бейнит.

A. O. Khudyakov, P. A. Danilkin, M. A. Ivanov, S. I. Yaroslavtsev

RESEARCH OF WELDABILITY OF PIPE STEEL X65 QS ORDERED FOR SOUR SERVICE

To evaluate the weldability of steel for sour service the effect of different thermal cycles of welding on toughness and resistance to sulfide stress cracking of the pipe steel X65QS was investigated. Researches were conducted by modeling the welding thermal cycles with heating to a temperature of 1300°C followed by cooling at different rates. Also kinetics of the austenite decomposition of pipe steel X65 QS in conditions of welding thermal cycles was studied. Dilatometric studies showed bainite transformation in a wide range of cooling rates in GHAZ. In this case, the main factor affecting both toughness and corrosion resistant *is* morphology of bainite transformed in GHAZ. Found that the highest toughness and satisfactory sulfide stress cracking

resistance is observed in welded joints with structure of the acicular bainite in the GCHAZ. Acicular bainite in GCHAZ forms at cooling rates 10-20° C/sec.

Keywords: *weldability, heat affected zone, thermal cycle of welding, cooling rate, bainite.*

Сварные трубы большого диаметра в сероводородостойком исполнении имеют ограниченное применение в мировой практике, однако, потребность в таких трубах существует. В частности, такие компании, как *ADCO, KuwaitOilCompany, QatarPetroleum, GASCO, Shell* (Ближний Восток), *Petrofac* (Туркменистан), «ЛУКОЙЛ» (Россия / Каспийское море) разрабатывают трубопроводные проекты, в которые закладывают сварные трубы с требованиями по стойкости к действию сред, содержащих сероводород.

Для трубопроводов транспортирующих сероводородсодержащие среды наиболее характерным видом разрушения является сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением [1; 2].

Сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением представляет собой растрескивание металла под влиянием процессов локального анодного растворения и растягивающих напряжений (остаточных или внешних) в присутствии воды и сероводорода. Оно связано с охрупчиванием металла атомарным водородом, образующимся при анодном растворении поверхности металла.

Сварные соединения более чем основной металл подвержены разрушению. Процесс сварки неизбежно приводит к изменениям в микроструктуре металла, что впоследствии влияет на его коррозионные свойства. Кроме того, в сварном соединении присутствуют остаточные напряжения, которые могут приводить к появлению дефектов [3; 4].

Основной целью настоящего исследования является изучение свариваемости сероводородостойкой стали группы прочности X65QS посредством определения стойкости металла в зоне термического влияния (ЗТВ) сварного соединения труб большого диаметра (ТБД), изготовленных из листового проката стойкого к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением.

Изучение поведения металла ЗТВ проводили с помощью моделирования термических циклов сварки. Свариваемость оценивали на основании установления характера влияния скорости охлаждения (тепловложения при сварке) на структуру и свойства металла области ЗТВ, нагреваемой выше температуры начала интенсивного роста зерна аустенита, т.е. области крупного зерна.

В представленной работе были проведены исследования свариваемости стали для производства ТБД в сероводородостойком исполнении группы прочности X65QS. Для определения свариваемости проведен комплексный анализ:

- кинетики фазовых превращений аустенита в условиях различных термических циклов сварки;
- структурно-фазового состава ЗТВ;
- механических свойств металла ЗТВ;
- коррозионных свойств металла ЗТВ.

Химический состав исследуемой коррозионностойкой стали группы прочности X65QS представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемой коррозионностойкой стали
группы прочности X65QS

Хим. элемент	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	N	Al	Mo	Nb	V	Ti	Ca	Сэкв, Pcm
Массовая доля, %	0,06	0,35	1,55	0,001	0,006	0,05	0,23	0,14	0,006	0,031	0,004	0,048	0,03	0,018	0,002	0,35 0,16

Кинетику превращения аустенита в процессе непрерывного охлаждения металла ЗТВ при сварке оценивали на основе построения и анализа термокинетических диаграмм.

Для оценки чувствительности стали к различным видам и режимам сварки, использовали различные значения скоростей охлаждения металла ЗТВ в температурном интервале 800–500 °С. Определение скорости охлаждения в этом интервале позволяет исключить погрешность, вносимую тепловым

эффектом фазовых превращений в интервале наименьшей устойчивости аустенита.

Для записи термокинетических кривых исследования фазовых превращений производили при температурах нагрева до 1300 °С с изменением скоростей охлаждения в диапазоне характерном для различных видов сварки (0,1–300 °С/с). Термокинетическая диаграмма исследуемой стали и микроструктура в зависимости от скорости охлаждения представлены на рис. 1.

Анализ кинетики фазовых превращений металла ЗТВ при температуре максимального нагрева 1300 °С показал, что основным видом превращения является бейнитное. Бейнит присутствует в структуре в широком интервале скоростей охлаждения (250 °С/с – 1 °С/с). Превращения, проходящие по диффузионной кинетике с образованием полигонального феррита, наблюдаются при скоростях охлаждения менее 10 °С/с. Образование перлита в металле ЗТВ в стали исследуемого состава проходит только при скоростях менее 1 °С/с.

Мартенситная составляющая в структуре ЗТВ появляется при скорости охлаждения более 120 °С/с. Температура начала мартенситного превращения не превышает 510 °С. Область частичной закалки находится в интервале скоростей охлаждения 120–250 °С/с.

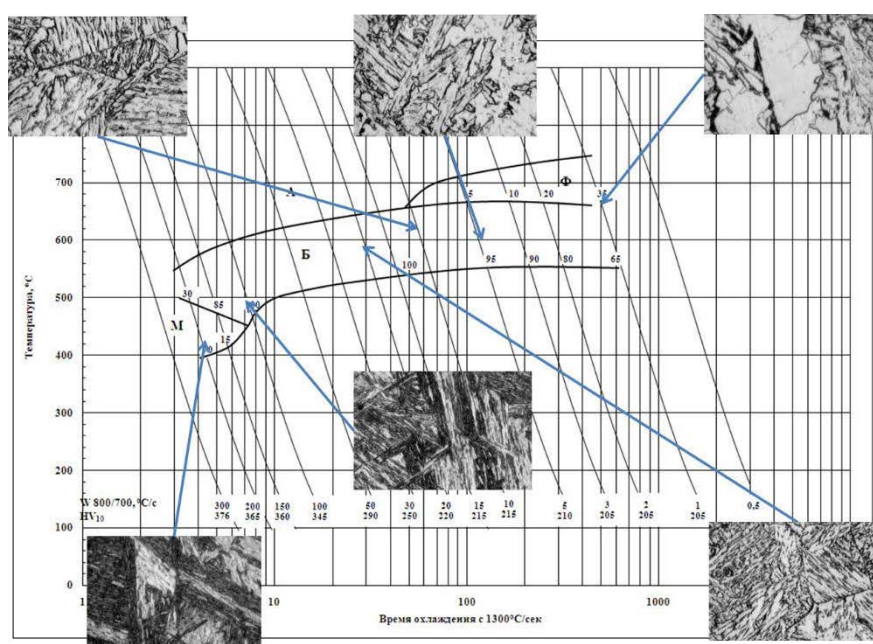


Рис. 1. Кинетика превращения аустенита в металле ЗТВ стали группы прочности Х65 QS

Результаты испытаний образцов на ударный изгиб с имитированной структурой, соответствующие различным скоростям охлаждения, представлены на рис. 2.

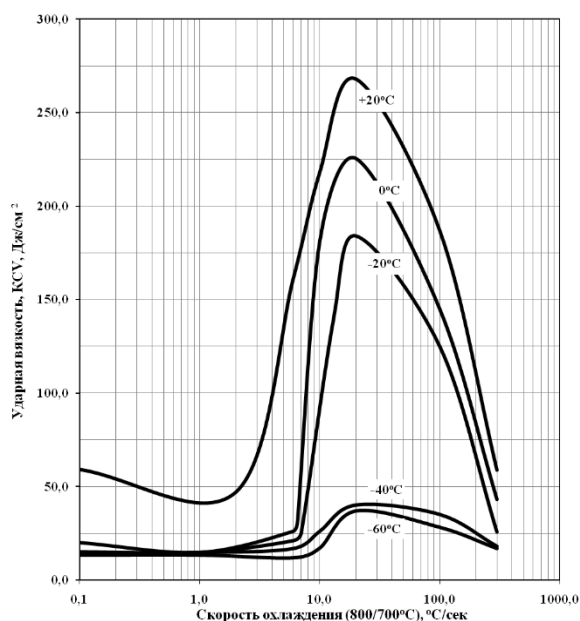


Рис. 2. Изменение ударной вязкости металла 3ТВ стали группы прочности X65 QS в зависимости от скорости охлаждения сварного соединения при различных температурах испытания

Максимальный уровень ударной вязкости соответствует структуре игольчатого бейнита образующегося при скоростях 15–25 °C/с при всех температурах испытания. Минимальный уровень ударной вязкости соответствует 7 °C/с. Такую низкую ударную вязкость имеют продукты высокотемпературного распада аустенита, образующиеся при скорости охлаждения менее 10 °C/с.

Наиболее резкое изменение ударной вязкости происходит при снижении скорости охлаждения металла 3ТВ ниже 10 °C/с, что связано с изменением морфологии бейнита и переходом ее от пластинчатой к глобулярной. При скорости охлаждения порядка 6 °C/с, в структуре наблюдается глобулярный бейнит с выделениями феррита по границам первичных зерен аустенита, который является косвенным признаком низкой ударной вязкости. Дальнейшее снижение скорости охлаждения металла 3ТВ до 0,1 °C/с сопровождается формированием феррито-перлитной структуры с содержанием полигонального феррита до 80 %, что приводит к незначительному повышению ударной вязкости.

Для определения оптимальных параметров микроструктуры в ЗТВ проведены исследования с целью оценки коррозионных свойств образцов с имитированной структурой, соответствующие различным режимам сварки.

Результаты испытаний образцов из металла с имитированной ЗТВ на стойкость к сульфидно-коррозионному растрескиванию под напряжением представлены на рис. 3.

В результате исследования установлено, что образцы с имитированной структурой соответствующей скоростям охлаждения 10 и 20 °C/с выдержали испытание на сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением по NAS-ETM0177 метод А. Остальные образцы разрушились, не выдержав базовое время испытаний в 720 ч (рис.3).

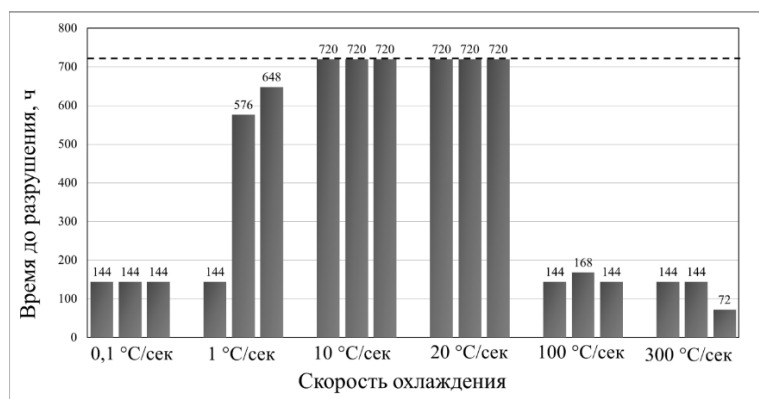


Рис. 3. Результаты испытаний на стойкость к сульфидному растрескиванию образцов из металла с имитированной ЗТВ

Выводы

Сталь группы прочности X65 QS для труб в коррозионностойком исполнении обладает удовлетворительными механическими и коррозионными свойствами в широком диапазоне скоростей охлаждения в условиях термического цикла сварки.

Наиболее благоприятной микроструктурой в ЗТВ является игольчатый бейнит, который обладает высокими вязкими и коррозионными свойствами. Структуре игольчатого бейнита соответствуют скорости охлаждения в диапазоне 10–20 °C/с. Такие скорости охлаждения реализуются при заводской автоматической сварке под слоем флюса и при автоматической орбитальной тандемной сварке труб в условиях монтажа.

Для выявления критических скоростей охлаждения, с точки зрения обеспечения стойкости к сероводородному растрескиванию под напряжением, необходимо провести более детальные исследования в интервале скоростей охлаждения от 20 до 100 °C/с.

Список литературы

1. Загорянский В. Г. Расширение деформационных методов предотвращения коррозионного растрескивания сварных соединений // Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. Нові технології в машинобудуванні. – 2010. – Вып.2, часть 1 – С. 61–68.
2. Варламов Д. П., Баренбойм И. И., Стеклов О. И. Коррозионное растрескивание под напряжением // Диагностика. Территория нефтегаз. – 2012. – № 6. – С. 36–44.
3. Некрасова С. Ю., Ольшанская Т. В. Применение методов исследования процесса коррозионного растрескивания для сварных соединений // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2014. – Т.16, №3 – С. 21–29.
4. Выбойщик Л. М., Лучкин Р. С., Платонов С. Ю. Структурный фактор коррозионномеханической прочности сварных соединений нефтепромысловых труб // Сварочное производство. – 2008. – №6. – С. 12–16.